

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- **BLACK BORDERS**
- **TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- **FADED TEXT**
- **ILLEGIBLE TEXT**
- **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- **COLORED PHOTOS**
- **BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS**
- **GRAY SCALE DOCUMENTS**

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**



(19) BUNDESREPUBLIK

DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

(12) **Patentschrift**  
(10) **DE 38 21 005 C 2**

(51) Int. Cl. 5:

**F 01 D 5/28**

F 01 D 5/18

C 04 B 35/56

C 04 B 35/48

C 04 B 35/46

C 04 B 35/10

C 04 B 35/58

C 04 B 37/02

- (21) Aktenzeichen: P 38 21 005.3-13  
(22) Anmeldetag: 22. 6. 88  
(43) Offenlegungstag: 28. 12. 89  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 16. 1. 92

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

(73) Patentinhaber:

MTU Motoren- und Turbinen-Union München GmbH,  
8000 München, DE

(72) Erfinder:

Schneiderbanger, Stefan, 8042 Oberschleißheim,  
DE; Hüther, Werner, Dr., 8047 Karlsfeld, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit  
in Betracht gezogene Druckschriften:

US 47 28 262  
US 32 15 511  
JP 59-2 15 905 A, In: Patents Abstr. of Japan, sect. M.  
Vol. 9 (1985), Nr. 87, (M-372);  
JP 54-1 06 714 A, In: Patents Abstr. of Japan, sect. M.  
Vol. 3 (1979), Nr. 130, (M-78);

(54) Turbinenschaufel als Metall-Keramik-Verbundschaufel

**DE 38 21 005 C 2**

**DE 38 21 005 C 2**

## Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf eine Turbinenschaufel nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

Es ist bei Gasturbinentreibwerken allgemein bekannt, im Interesse hoher Prozeßtemperaturen, insbesondere hoher Turbineneintrittstemperaturen, z. B. luftgekühlte Leit- und Laufschaufeln an der Hochdruckturbine vorzusehen; die hierfür erforderliche Kühlungsentnahme aus einem Verdichter bzw. am Ende eines Hochdruckverdichters, führt zu nicht unbedeutlichen Leistungseinbußen im Kreisprozeß des Triebwerks. Schon vorgeschlagene lastzyklusabhängig gesteuerte Kühlluftzufuhren, verbrauchsoptimal gestaltete Schaufelküllluftgeometrien wie aber unter anderem auch die Auswahl hochlegierter temperaturbeständiger Schaufelwerkstoffe verursachen einen vergleichsweise hohen Bau- und Kostenaufwand. Im allgemeinen kann insbesondere bei Strahltriebwerken für Flugzeuge wie aber auch bei neuzeitlichen stationären Hochleistungsgasturbinenanlagen auf einen derartigen Aufwand nicht verzichtet werden, um hinsichtlich verlangter, stetig steigender Turbineneintrittstemperaturen auf der sicheren Seite liegen zu wollen.

Im Rahmen der vorhergehenden Ausführungen ist es zum Beispiel aus der DE-AS 16 01 561 bekannt, eine metallische Turbinenschaufel in der Kombination aus Konvektions-, Aufprall- und Filmkühlung auszubilden, um extrem hohe Turbineneintrittstemperaturen möglichst ohne Abbrand- und Beschädigungsgefahren, insbesondere an der hochtemperaturbelasteten Nasen- wie aber auch Austrittskante, zu beherrschen. Bei derartigen oder vergleichbaren Schaufelkonzepten werden in jüngster Zeit hochwarme Nickel- oder Kobalt-Basislegierungen eingesetzt, deren Verhalten durch gezielte Erstarrung oder Vergießen als Einkristall zusätzlich verbessert werden kann. Da die Heißgastemperaturen oftmals über dem Schmelzpunkt dieser Werkstoffe liegen, sind die in Verbindung mit dem erwähnten bekannten Fall beispielhaft genannten Kühlmaßnahmen notwendig.

In dem Bemühen, Küllufsteinsparungen erzielen zu wollen, wurde schon die Möglichkeit erörtert, besondere Thermobarrieren aus einem keramischen Material, z. B. an den Schaufeleintrittskanten, vorzusehen. Derzeit ist die Haltbarkeit dieser Barrieren gerade auf den extrem thermisch und mechanisch belasteten Schaufeleintrittskanten, also dort, wo die Notwendigkeit der Wärmeisolation am größten ist, noch unbefriedigend.

Ferner ist z. B. aus der DE-PS 31 10 096 eine Keramik-Metall-Verbundschaufel bekannt, bei der der tragende metallische, den Schaufelfuß enthaltende Kern von einem daran "frei dehnbar" angeordneten keramischen SchaufelmanTEL mit Abstand umhüllt werden soll und ferner Kühlkanäle aufweisen kann. Insbesondere im Hinblick auf die Anwendung als Laufschaufel sollte mit dem bekannten Schaufelkonzept ein Kompromiß zwischen Heißgastemperaturbeherrschung (Keramikmantel) und Zentrifugalkraft-Festigkeitsbeherrschung (Kern) gefunden werden; als Folge seiner Sprödbrüchigkeit ist der keramische Werkstoff im allgemeinen nicht dazu geeignet, Spannungsspitzen durch plastische Deformationen abzubauen.

Ein Nachteil des bekannten Schaufelkonzepts besteht in der Verwendung eines verhältnismäßig großen Keramikteils (Mantel), was nicht nur die Gefahr verhältnismäßiger großer Wärmespannungen, sondern auch die Gefahr verhältnismäßig großer Schaufelschäden, insbe-

sondere im Hinblick auf die Fliehkräftebelastungen, zur Folge haben dürfte; mit anderen Worten dürfte also ein SchaufelmanTSchaden kaum örtlich in Grenzen zu halten sein.

5 Es wurde zwar schon die Möglichkeit untersucht, die gesamte Schaufel vollkeramisch ausbilden zu wollen. Auch dieser untersuchten Möglichkeit wären durch die vorhandene Sprödbrüchigkeit der Keramik (mangelnde plastische Deformierbarkeit) sowie als Folge der im allgemeinen mangelnden Duktilität des keramischen Werkstoffs äußerst enge Anwendungsgrenzen gesetzt. Auch in diesem schon untersuchten Fall dürfte also ein Schaufelschaden (Bruch) kaum örtlich in Grenzen zu halten sein.

15 Eine der eingangs genannten Gattung (Oberbegriff des Patentanspruchs 1 zugrunde gelegte Turbinenschaufel ist aus der US-PS 32 15 511 bekannt. Dabei soll eine mechanisch verkeilte und feste Verriegelung zwischen dem betreffenden keramischen Bauteil, z. B. an 20 der Vorderkante, und dem metallischen Grundkörper vorgesehen sein; letzterer kann z. B. aus einer Superlegierung auf Nickel- oder Kobaltbasis gefertigt sein; das oder die betreffenden Keramikbauteile können z. B. aus Siliziumnitrid gefertigt sein, um die Anforderungen an 25 Erosions- und Temperaturbeständigkeit, insbesondere an der Eintrittskante, zu erfüllen. Maßnahmen zur örtlichen Begrenzung der Folgen eines Keramikbruches sowie einer leichten Auswechselbarkeit einer beschädigten Kantenstruktur sind dem bekannten Fall fremd.

30 Aus dem zur JP-Anmeldung Nr. 59-2 15 905 vorliegenden Abstrakt (M-372, April 17, 1985 Vol. 9/No. 87) ist es bekannt, die temperaturgefährdete Eintrittskante einer Schaufel in keramische Bauteilsegmente zu zergliedern; jedes Segment soll im Wege einer keilförmigen Nut-Feder-Verbindung am metallischen Grundkörper der Schaufel lösbar verankert werden; und zwar in einer Radialnut, zwischen einem spitzenseitig axial vorstehenden Endteil des Grundkörpers und einem vom vorn unteren Mantelende des Grundkörpers lösbar Schraubenkopf.

35 Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Turbinenschaufel nach der eingangs genannten Art (Oberbegriff des Patentanspruchs 1) anzugeben, die unter Ausnutzung der Vorteile des an den angegebenen Stellen zu verwendenden keramischen Materials — wie 40 Temperatur- und Erosionsbeständigkeit — das aus einem eventuellen Keramikbruch resultierende Einsatzrisiko der betreffenden Schaufel örtlich in Grenzen halten und dabei zugleich reparaturfreudlich ausgebildet sein soll.

45 Die gestellte Aufgabe ist gemäß dem Kennzeichnungsteil des Patentanspruchs 1 erfundungsgemäß gelöst.

50 Im Falle eines Bruches oder einer örtlichen Beschädigung der betreffenden Keramik-Schaufelkante wird also sichergestellt, daß die betreffende Schaufel zumindest bis zum nächstmöglichen Wartungsintervall noch einsatzbereit ist; im Falle genannten Schadens erfolgende Freilegung der örtlichen Enden der Kühlbohrungen ermöglicht eine örtliche Heißgasabschirmung und Kühlung des Schaufelgrundkörpers.

55 Es können ferner — unter Ausnutzung hoher Zugfestigkeit des metallischen Werkstoffes (Legierung) einerseits und des hohen Schmelzpunktes der Keramik andererseits — die thermisch am höchsten beanspruchten Bereiche der Schaufel vor Überhitzung und Korrosion geschützt werden. Dabei kann in erster Linie die Schaufeleintrittskante, z. B. durch ein einziges massivkerami-

sches, auswechselbares Keramikbauteil mittels Schwalbenschwanzführung an der metallischen Schaufel (Grundkörper) gehalten werden.

Zur Verringerung der radial auftretenden Spannungen wirkt sich die kantenseitige Anordnung von mehreren Keramikbauteilen (Bauteilsegmente, z. B. an der Eintrittskante) vorteilhaft aus. Dies gilt selbstverständlich auch in Verbindung mit der Möglichkeit, die betreffende Schaufelaustrittskante entsprechend ausbilden zu können.

Als Werkstoffe kommen oxydische wie auch nicht-oxydische Keramiken, welche eine möglichst hohe Festigkeit, hohe Thermowechselbeständigkeit sowie eine gegebenenfalls dem Grundwerkstoff angepaßte Wärmedehnung sowie schließlich eine möglichst geringe Wärmeleitfähigkeit besitzen, in Betracht.

Die hohe thermische Beständigkeit der Keramik läßt vergleichsweise hohe Eintrittskantentemperaturen zu.

Durch zusätzliche Verwendung von Wärmedämm-schichten auf den betreffenden Schaufelblattflächen des metallischen Grundkörpers kann ferner das Gesamt-temperaturniveau bei gleichem Kühlluftdurchsatz angehoben werden. Damit erhöht sich die Triebwerkseffizienz.

Das geringere spezifische Gewicht der Keramik hält die Gewichtszunahme trotz der massiven Bauweise der Gesamtschaufel in Grenzen.

Vorteilhaft kann ferner die Eintritts- und/oder Austrittskante bei Beschädigung gänzlich oder teilweise leicht ausgewechselt werden.

Im Rahmen der Erfindung kann ferner die Gesamtbensdauer des metallischen Grundkörpers vergleichsweise hoch veranschlagt werden, was Kosteneinsparungen zur Folge hat.

Bezüglich vorteilhafter Ausgestaltungen der Erfindung nach Patentanspruch 1 wird auf die Merkmale der Patentansprüche 2 bis 7 verwiesen.

Anhand der Zeichnungen ist die Erfindung beispielsweise weiter erläutert; es zeigen:

Fig. 1 die perspektivische Ansicht einer Verbundschaufel, bestehend aus metallischem Grundkörper mit keramischer Eintrittskante, als einstückigem auswechselbarem Keramikbauteil,

Fig. 2 die perspektivische Ansicht einer Verbundschaufel, bestehend aus metallischem Grundkörper mit keramischer Eintrittskante, die aus mehreren auswechselbaren keramischen Bauteilsegmenten zusammenge-setzt ist,

Fig. 3 die perspektivische Ansicht einer Verbundschaufel, bestehend aus metallischem Grundkörper mit keramischen Ein- und Austrittskanten, jeweils von mehreren keramischen Bauteilsegmenten augebildet,

Fig. 4 die perspektivische, überwiegend saugseitige Ansicht einer im Sinne der Fig. 2 ausgebildeten Schaufelvariante unter Verdeutlichung schaufelfußseitiger Einfüll- und Sicherungsmittel (stiftartig) der keramischen Bauteilsegmente am metallischen Grundkörper,

Fig. 5 eine verkleinerte Seitenansicht der Schaufel gemäß Fig. 4,

Fig. 6 die seitliche Ansicht der Schaufel gemäß Fig. 5, jedoch unter Verdeutlichung eines von gegenüber Fig. 4 und 5 abweichenden Sicherungsmittels (klammerartig),

Fig. 7 die Seitenansicht einer für ein Leitgitter geeigneten Leitschaufel mit äußerem und innerem Deckbandsegment unter Verdeutlichung von gegenüber Fig. 4 bis 6 abweichend ausgebildetem Sicherungsmittel

(Ring) für eine aus mehreren keramischen Bauteilseg-mmenten bestehende Eintrittskante,

Fig. 8 eine perspektivisch sowie quergeschnitten dar-gestellte Ansicht eines Schaufelabschnitts mit Kühlvor-kehrungen, insbesondere im Hinblick auf einen mögli-chen Bruch einer hier z. B. aus einem einstückigen keramischen Bauteil bestehenden Eintrittskante und

Fig. 9 einen quergeschnittenen Abschnitt einer Ver-bundschaufel mit unter Einschluß der Maßnahmen nach Fig. 8 zusätzlichen Kühlvorkehrungen des metallischen Grundkörpers der Schaufel.

Fig. 1 veranschaulicht eine Metall-Keramik-Ver-bundschaufel für ein Gasturbinentreibwerk, bei dem z. B. die Schaufeleintrittskante aus einem einstückigen massiven Keramikbauteil 1 besteht, das an einem tem-peraturbeständigen metallischen Grundkörper 2 der Schaufel dehnungskompensatorisch und auswechselbar verankert ist. Dabei ist das Keramikbauteil 1 mittels eines schwalbenschwanzförmigen Endabschnitts 3 in ei-ner entsprechend angepaßt konturierten Ausnehmung 4 des metallischen Grundkörpers 2 verankert. Beim Werkstoff des metallischen Grundkörpers 2 kann es sich um eine hochtemperaturbeständige und feste metalli-sche Legierung handeln, beispielsweise um eine Nickel- oder Kobaltbasislegierung, die im Wege einer gerichte-ten Erstarrung (Einkristall) hergestellt wird.

Ohne zwecks Durchführung der Erfahrung daran gebunden zu sein, besteht die vorteilhafte Möglichkeit, daß der Werkstoff des Keramikbauteils 1 etwa den glei-chen Wärmeausdehnungskoeffizienten wie der Werk-stoff des metallischen Grundkörpers 2 aufweist.

Anstelle der in Fig. 1 dargestellten schwalben-schwanzförmigen Ausbildung und Befestigungsweise des Keramikbauteils 1 am metallischen Grundkörper 2 besteht ferner die Möglichkeit, hierfür eine hammer-kopf- oder tannenbaumartig gestaltete Endabschnitts-ausbildung und Verankerung des Keramikbauteils 1 am metallischen Grundkörper 2 vorzusehen. Derartige hammerkopf- oder tannenbaumartig gestaltete Endab-schnitte sind bekannt im Rahmen der Befestigungsweise von Schaufelfüßen am betreffenden Rotor von Strö-mungsmaschinen.

Es besteht die Möglichkeit, jegliche anderweitige ge-eignete Befestigungsweise, z. B. im Rahmen einer so ge-nannten "Nut-Feder-Verbindung" des Keramikbauteils 1 am metallischen Grundkörper 2 vorzusehen.

Fig. 2 weicht von Fig. 1 dadurch ab, daß die Eintritts-kante in mehrere keramische Bauteilsegmente 5 zerglie-dert ist. Die Segmente 5 ihrerseits sind wiederum ther-misch kompatibel mittels jeweiliger schwalbenschwanz-förmiger Endabschnitte 3 in einer korrespondierenden schwalbenschwanzförmigen Ausnehmung 4 des metalli-schen Grundkörpers 2 verankert. Die zuletzt beschrie-bene Ausbildung der keramischen Eintrittskante gilt ebenso in Verbindung mit Fig. 3.

Abweichend von Fig. 2 ist lediglich, daß die betreffen-de Hinterkante der Schaufel ebenfalls zusätzlich in der Form mehrerer keramischer Bauteilsegmente 6 ausge-bildet ist, die jeweils mit schwalbenschwanzförmigen Endabschnitten 7 in einer korrespondierenden Ausneh-mung 4 des metallischen Grundkörpers 2 verankert sind.

Fig. 4 veranschaulicht eine Turbinenlaufschaufel, die gemäß Fig. 2 wiederum aus dem metallischen Grund-körper 2 und den eintrittskantenseitig daran veranker-ten keramischen Bauteilsegmenten 5 besteht. Zusätzlich weist diese Laufschaufel nach Fig. 4 ein kopfseitiges Deckbandsegment 7, einen Schaufelfuß 8 sowie eine mit

Schaufelfuß 8 und Grundkörper 2 in Verbindung stehende Schaufelfußplatte 9 auf. Dabei ist davon auszugehen, daß sich die betreffende schwabenschwanzförmige Ausnehmung 4 (Fig. 1) hier also zwischen dem kopfseitigen Deckbandsegment 7 und der unteren Schaufelfußplatte 9 erstreckt. Aus Fig. 4 ist deutlich eine an der Schaufelfußplatte 9 angeordnete, mittels eines Stifts 11 verriegelbare Einfüllöffnung 10 für die betreffenden Segmente 5 erkennbar. Der Stift 11 ist über eine Bohrung 12 in der Fußplatte 9 fest verankert, um so ein Herausrutschen der in die Ausnehmung 4 eingefüllten Bauteilsegmente 5 zu verhindern. Dieser Stift 11 kann vergleichsweise leicht von außen mittels eines geeigneten Werkzeugs entfernt werden. Entgegen der Darstellung nach Fig. 4 könnte selbstverständlich die Einfüllöffnung nebst beispielsweise stiftartigem Sicherungsmittel auch in bzw. am kopfseitigen Deckbandsegment 7 angeordnet werden, so daß für diesen Fall die betreffende Schaufelfußplatte 9 als in sich geschlossenes Bauteil zu verstehen wäre.

Fig. 5 weicht von Fig. 4 grundsätzlich lediglich dadurch ab, daß die betreffende Ausnehmung 4 (Fig. 1) schaufelkopfseitig, d. h. also unmittelbar vor dem kopfseitigen Deckbandsegment 7 an einer sockelartigen Erhebung 13 des betreffenden metallischen Grundkörpers 2 endet.

Für das Ausführungsbeispiel nach Fig. 6 gelten grundsätzlich die gleichen Merkmale und Kriterien nach den zuvor beschriebenen und gezeichneten Fig. 4 und 5, wobei in Fig. 6 lediglich anstelle des in Fig. 4 vorgesehenen Sicherungsstiftes 11 ein klammerartiges Sicherungselement 14 vorgesehen ist, welches einerseits die Schaufelfußplatte 9 unten hakenartig umgreift und im übrigen am oberen Ende, also an der Oberfläche der Fußplatte 9, so ausgebildet und geführt ist, daß sie ein Herausrutschen der keramischen Bauteilsegmente 5 aus der betreffenden Einfüllöffnung 10 (Fig. 4) verhindert.

Fig. 7 kennzeichnet die Anwendung bei einem axial durchströmten Eintrittsleitgitter einer Hochdruckturbinе eines Gasturbinentriebwerks. Dabei bestehen die jeweiligen Leitschaufeln wiederum aus dem betreffenden metallischen Grundkörper 2 mit den hier beispielsweise die Eintrittskante ausbildenden Bauteilsegmenten, die über die Ausnehmung 4 am Grundkörper 2 verankert sind. Jede Leitschaufel weist dabei ein kopfseitiges Deckbandsegment 15 und ein fußseitiges Deckbandsegment 16 auf. Aus Fig. 7 erkennt man ferner, daß die betreffende Ausnehmung 4 am unteren Ende der Schaufel an einer sockelartigen Erhebung 13 endet, die vom betreffenden metallischen Grundkörper 2 ausgebildet wird. Die genannten keramischen Bauteilsegmente 5 bzw. Einsatzbauteile können im vorliegenden Ausführungsbeispiel über eine hier nicht weiter dargestellte obere Einfüllöffnung im kopfseitigen Deckbandsegment 15 in die Ausnehmung 4 eingesetzt werden. Die betreffende Einfüllöffnung wäre sinngemäß, in Entsprechung zu Fig. 4 mit 10 bezeichnet, auszubilden. Dabei ist in Abweichung von Fig. 4 und Fig. 6 das betreffende Sicherungselement in Fig. 7 als ein umlaufender Sicherungsring 17 ausgebildet.

Fig. 8 greift zunächst auf die Merkmale des Ausführungsbeispiels nach Fig. 1 zurück, wonach am betreffenden metallischen Grundkörper 2 die Eintrittskante als ein einzelnes massives Keramikbauelement 1 ausgebildet und mittels eines schwabenschwanzförmigen Endabschnitts 3 am metallischen Grundkörper 2 verankert ist. Selbstverständlich könnte in Fig. 8 anstelle eines einzigen massiven Keramikbauteils 1 auch eine aus mehreren

keramischen Bauteilsegmenten 5 bestehende Eintrittskante vorgesehen werden, ähnlich der Ausführungsbeispiele nach den Fig. 2 und 3. Im übrigen ist Fig. 8 dadurch gekennzeichnet, daß der metallische Grundkörper 2 der Schaufel mindestens einen an eine Kühlluftzufuhr angeschlossenen Hohlraum 18 ausbildet, an den in Richtung auf das Keramikbauteil 1 derart auslaufende Kühlluftbohrungen 19, 20 angeschlossen sind, daß sie erst im Falle einer örtlichen Beschädigung oder im Falle eines örtlichen Wegbrechens des Keramikbauteils 1 teilweise oder gänzlich freigelegt werden können. Im genannten Gefahrenfall wird also sichergestellt, daß die örtlich freigelegten Kühlluftbohrungen 19 bzw. 20 eine sichere Heißgasabschirmung an denjenigen Stellen ausbilden, an denen Keramikteile gebrochen sind.

Zusätzlich zu Fig. 8 und den dort besprochenen Maßnahmen beinhaltet Fig. 9 eine Variante mit hocheffizienter Kühlung des metallischen Grundkörpers 2 der Schaufel. Dabei beinhaltet die Schaufel nach Fig. 9 — von links nach rechts gesehen — sich im wesentlichen über die gesamte Schaufelblathöhe erstreckende Kanäle 18, 21 und 22. Dabei werden die Kanäle 21 und 22 beispielsweise von der Schaufelfußseite aus mittels aus dem Verdichter abgezweigter Kühlluft beaufschlagt. Die Kanäle 18 und 21 bilden eine leistungsfähige Konvektionskühlung aus, indem deren Innenwandungen zwecks Erhöhung der Wärmeübergangssfläche mit einzelnen Erhebungen 23 bzw. 24 versehen sind. An dem hinteren Kanal 22 der Schaufel sind über die gesamte Schaufelhöhe sich in gegenseitigen Abständen erstreckende feine Kühlluftbohrungen angeschlossen, und zwar die Bohrungen 25, die an der Schaufelhinterkante in den Abgas- bzw. Heißgasstrom münden (Pfeil F). Auf diese Weise kann unter anderem die hochtemperaturbelastete Schaufelhinterkante intensiv konvektiv gekühlt werden. Aus Fig. 9 erkennt man ferner, daß die Kanäle 18 und 21 über verhältnismäßig kleine Durchtrittsbohrungen 26 miteinander in Verbindung stehen. Diese Bohrungen 26 sind ebenfalls in Richtung der Schaufelhöhe übereinander gestaffelt angeordnet, um eine Prallströmung der von Kanal 21 in Kanal 18 abfließenden Kühl Luft zu gewährleisten.

Die betreffende nasenkantenseitige Prallströmung der Kühl Luft ist durch die Pfeile P gekennzeichnet. Gemäß Pfeilen G bzw. G' kann entlang des betreffenden metallischen Schaufelmanuels (metallischer Grundkörper 2) durch Tangentialausblasung eine Film kühlung entlang der Schaufelaug- bzw. Schaufeldruckseite vorgenommen sein. Für die genannte Film kühlung sind ebenfalls über die Schaufelhöhe radial gestaffelt angeordnete Ausblasebohrungen 27, 28 bzw. 29, 30 vorgesehen.

In den Zeichnungen nicht weiter dargestellt, können erfundungsgemäß ferner auf die betreffenden druck- und saugseitigen Außenflächen des metallischen Grundkörpers Wärmedämmenschichten aufgebracht werden. In Kombination mit den vorgesehenen übrigen Maßnahmen kann somit ein Betrieb der Verbundschaufel bei vergleichsweise hoher Heißgastemperatur erfolgen, ohne den Kühl luftdurchsatz gegenüber konventionellen rein metallischen Lösungen merklich anheben zu müssen.

Bei den Wärmedämmenschichten kann es sich z. B. um CeO<sub>2</sub> (Ceriumoxid) oder Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Yttriumoxid) oder CaO (Cadmiumoxid) oder MgO (Magnesiumoxid) oder ZrO<sub>2</sub> (Zirkonoxid) — voll oder teilstabilisiert — oder um geeignete Hochtemperaturremaillen handeln.

## Patentansprüche

1. Turbinenschaufel eines Axialleit- oder Laufgitters eines Gasturbinentriebwerkes, die als Metall-Keramik-Verbundschaufel an der Vorder- und/ oder Hinterkante aus mindestens einem Keramikbauteil (1) besteht, das mit einem Endabschnitt (3) an einer korrespondierenden Ausnehmung (4) eines temperaturbeständigen metallischen Grundkörpers (2) der Schaufel verankert ist, der wenigstens einen mit einem Kühlmittel versorgten Hohlraum (18) ausbildet, dadurch gekennzeichnet, daß
  - die gesamte Vorder- und/oder Hinterkante von mindestens einem lösbar am Grundkörper (2) verankerten Keramikbauteil (1) ausgebildet ist,
  - an den mit Kühlluft versorgten Hohlraum (18), in Richtung auf das Keramikbauteil (1) derartig auslaufende Kühlluftbohrungen (19, 20) angeschlossen sind, daß sie erst im Falle einer örtlichen Beschädigung oder eines örtlichen Wegbrechens des Keramikbauteils (1) teilweise oder gänzlich freigelegt sind.
2. Turbinenschaufel nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Keramikbauteil (1) aus aus Siliziumkarbid (SiC) oder Bornitrid (BN) oder Zirkonoxyd ( $ZrO_2$ , teilweise oder ganz stabilisiert) oder Aluminiumtitannat ( $Al_2TiO_3$ ) oder Aluminiumoxyd ( $Al_2O_3$ ) gefertigt ist.
3. Turbinenschaufel nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Endabschnitt (3) des Keramikbauteils (1) schwalbenschwanzartig oder hammerkopf- oder tannenbaumartig gestaltet ist.
4. Turbinenschaufel nach Ansprüchen 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die mit dem Endabschnitt (3) eines einzigen Keramikbauteils (1) oder mehrerer keramischer Bauteilsegmente (5) korrespondierende Ausnehmung (4) an einem fuß- oder kopfseitigen Platten- bzw. Deckbandsegment (16; 7) endet und am übrigen Ende der Schaufel eine verriegelbare Einfüllöffnung (10) für das einzige Keramikbauteil (1) oder für die Bauteilsegmente (5) ausbildet.
5. Turbinenschaufel nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Ausnehmung (4) mit einer von außen zugänglichen Einfüllöffnung (10) durch eine Schaufelfußplatte (9) oder durch ein kopfseitiges Deckbandsegment (15) der Schaufel hindurchgeführt ist, wobei ein einziges Keramikbauteil (1) oder mehrere keramische Bauteilsegmente (5) so durch Stifte (11) oder einen Sicherungsring (17) oder durch ein klammerartiges Sicherungselement (14) gegen ein Herausrutschen an der Schaufel gesichert sind.
6. Turbinenschaufel nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Grundkörper (2) in der Kombination aus einer Konvektions-, Aufprall- und Filmkühlung ausgebildet und gekühlt ist.
7. Turbinenschaufel nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß auf die druck- und/oder saugseitigen Außenflächen des metallischen Schaufelgrundkörpers Wärmedämmsschichten, z. B. aus  $CeO_2$ ,  $Y_2O_3$ ,  $CaO$ ,  $MgO$ ,  $HfO_2$ , voll- oder teilstabilisiertem  $ZrO_2$  oder Hochtemperaturmaillen aufgebracht sind.

**— Leerseite —**

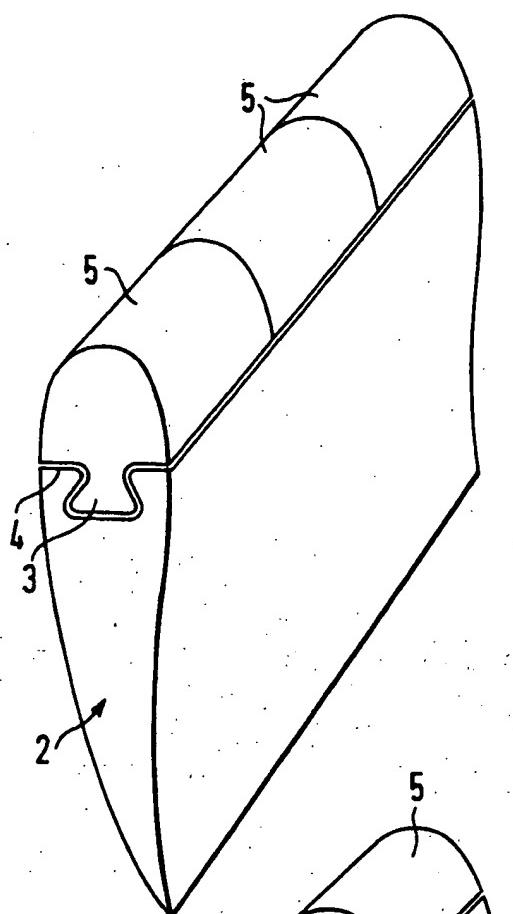


FIG. 2

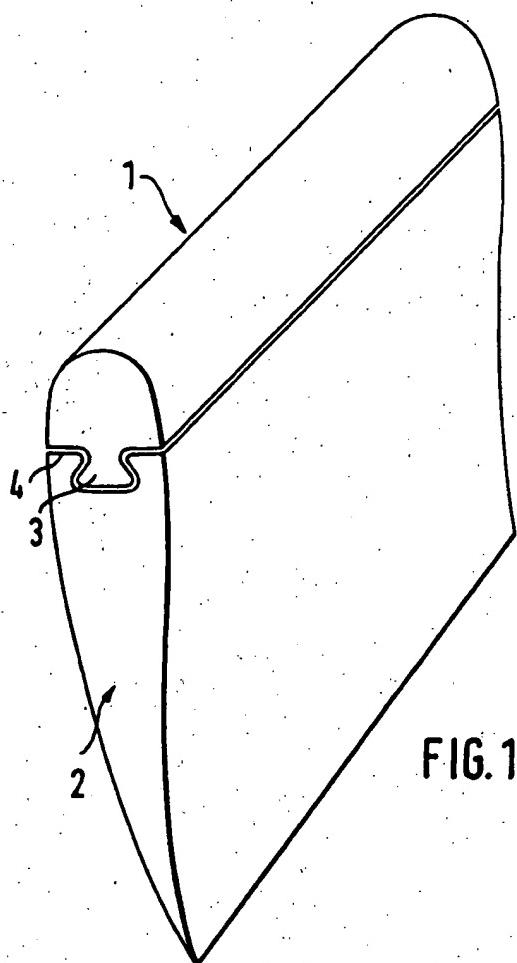


FIG. 1

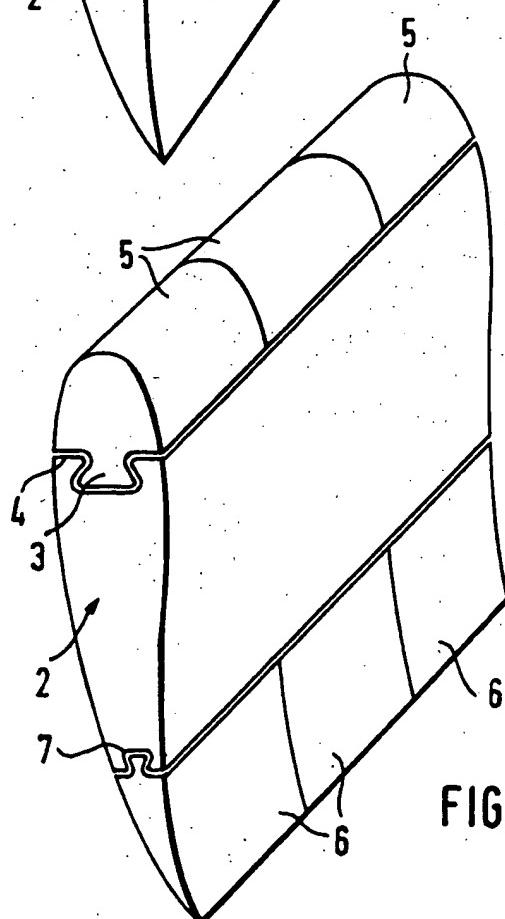
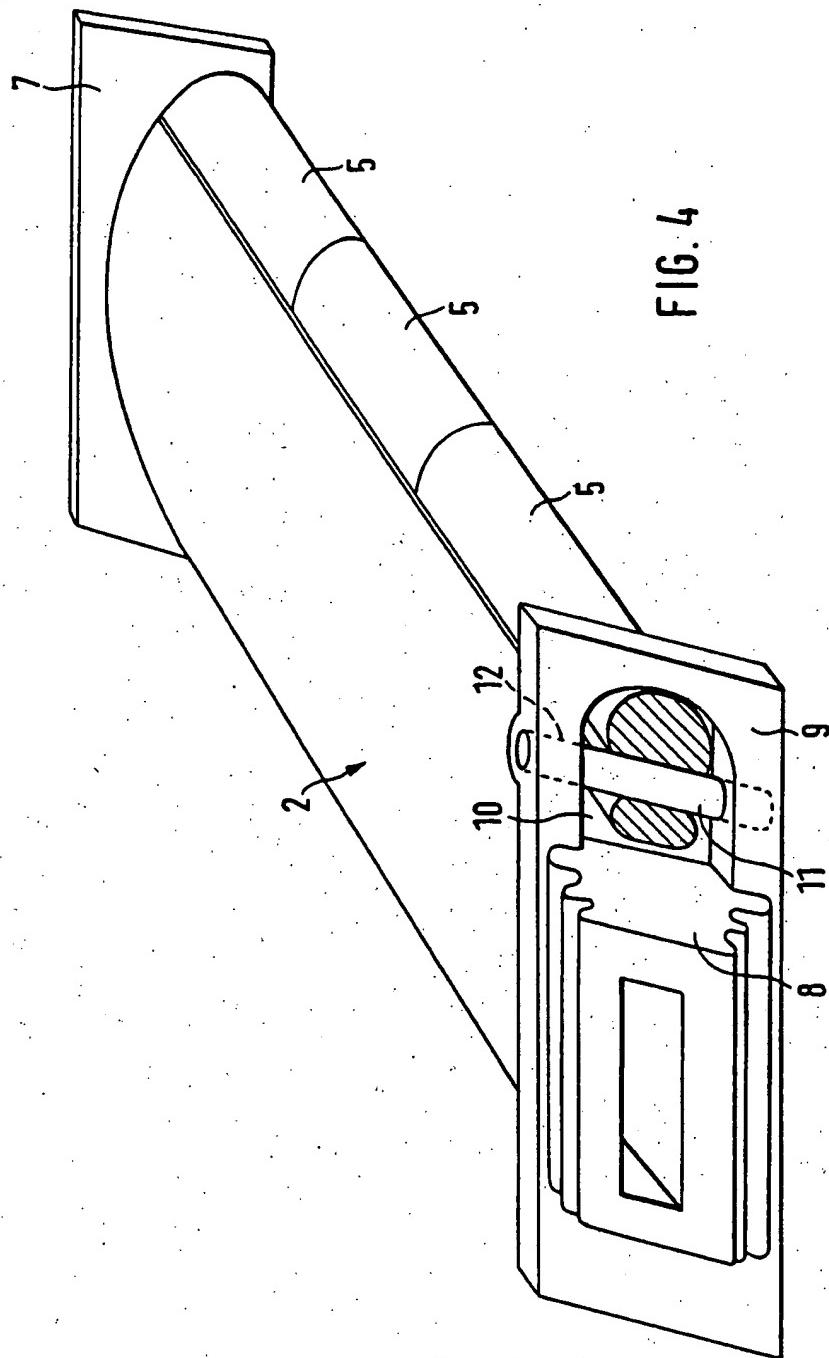


FIG. 3



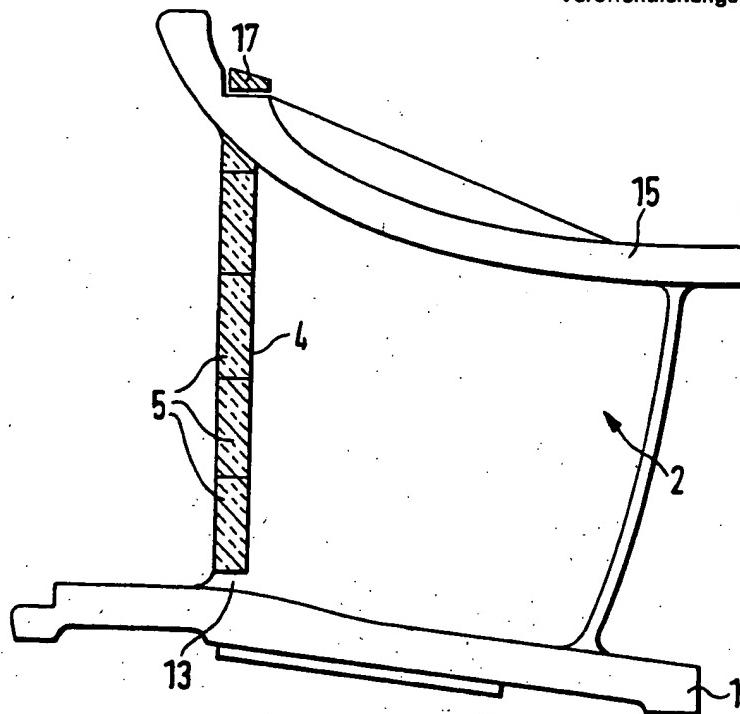


FIG. 7

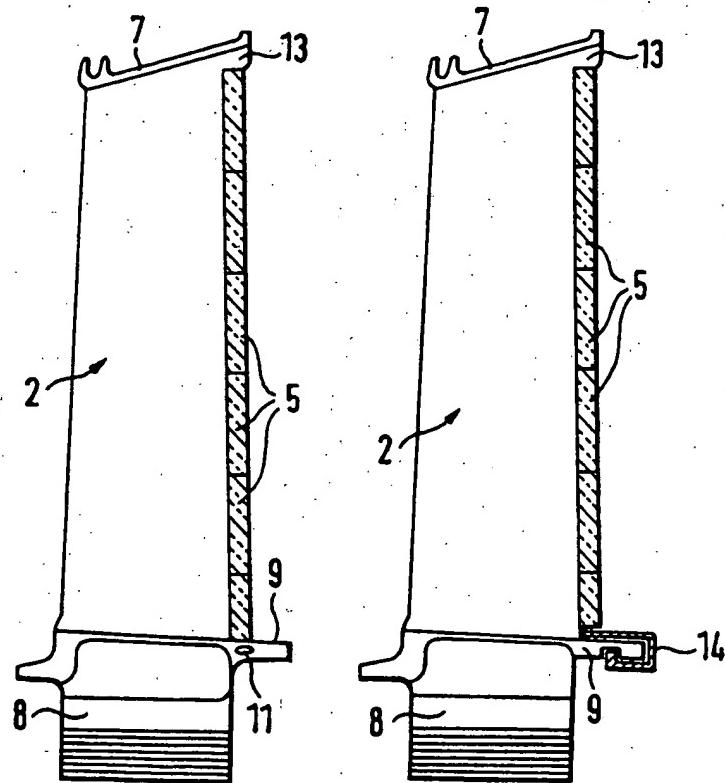


FIG. 5

FIG. 6

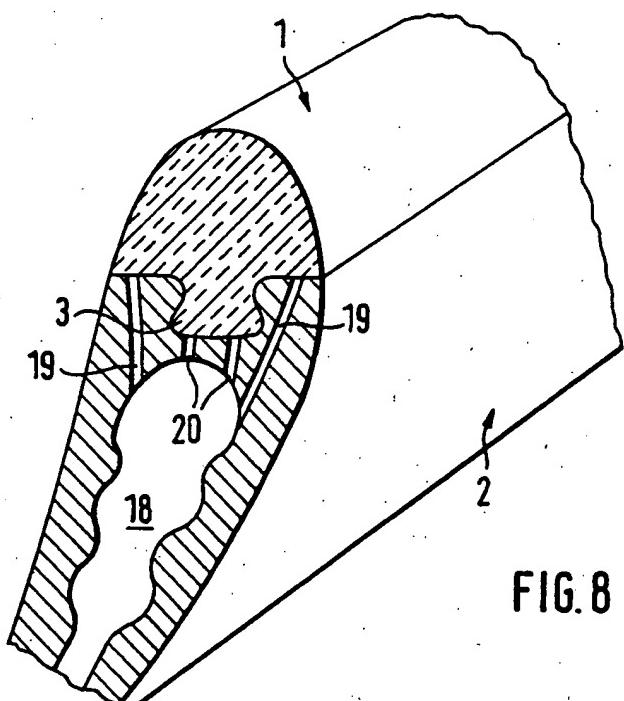


FIG. 8

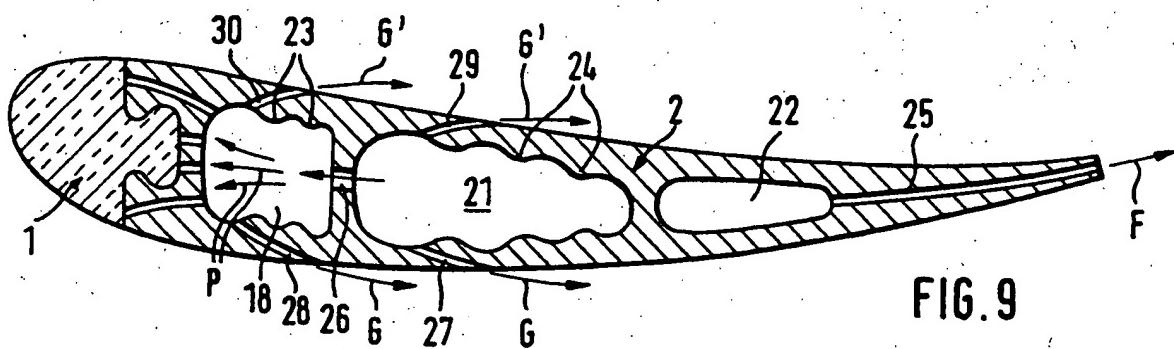


FIG. 9